

T.D. Mécanique quantique
* Série 1 *

A / Corpuscules de lumière

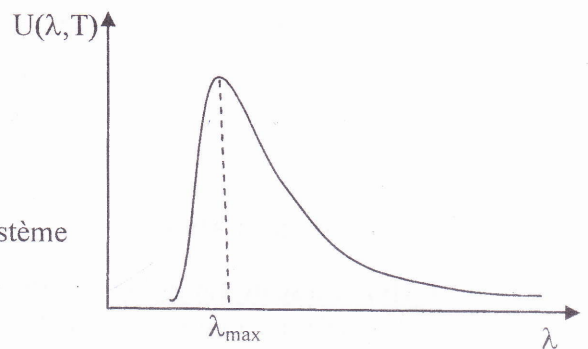
I. Le rayonnement du corps noir (Concept de la 1^{ère} quantification)

Les résultats expérimentaux obtenus pour un corps noir (figure ci-dessous) sont régis par les deux lois empiriques :

- Loi de Stefan : $\int_0^\infty U(\lambda, T) d\lambda = a T^4$
- Loi de déplacement de Wien : $\lambda_{\max} \cdot T = \text{cte}$

- 1) Donner une interprétation de ces deux lois.
- 2) La théorie classique de Rayleigh-Jeans pour un tel système conduit à :

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} kT \nu^2$$



- a) Ecrire $U(\lambda, T)$ et donner son allure.
 - b) Cette théorie est-elle en accord avec l'expérience? Pourquoi ?
 - c) Expliquer ce que l'on entend par "catastrophe ultraviolette".
- 3) Planck a établi la formule suivante donnant la densité U :

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Trouver son accord avec l'expérience. On donne : $\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$

- 4) On veut retrouver la loi empirique de déplacement de Wien : $\lambda_{\max} \cdot T = \text{cte}$
 - a) Ecrire la formule de Planck en termes de λ : $U(\lambda, T)$
 - b) Déterminer $\lambda_{\max}$ sachant que l'équation : $(1 - e^{-x}) = x/5$ peut être résolue graphiquement; soit : $x = x_{\max} = 4,97$. En déduire la loi de Wien.
 - c) Estimer la température du soleil sachant que la maximum d'intensité du spectre solaire correspond à $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$. Commenter.

On donne : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ et $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

II. L'Effet photoélectrique (Introduction du concept de photon)

1) Rappeler et interpréter la relation d'Einstein donnant le bilan énergétique de l'absorption du photon par un métal.

2) a) Une substance métallique éclairée par la lumière visible ($0,4 - 0,75 \mu\text{m}$) ne produit aucun courant électrique. Que peut-on dire de son travail de sortie?

b) On recouvre la substance par du zinc dont le travail de sortie est $W_s = 3,4 \text{ eV}$ puis on l'éclaire avec une radiation de longueur d'onde $\lambda = 0,2 \text{ }\mu\text{m}$. Donner la longueur d'onde et la fréquence du seuil photoélectrique. Quelle est la vitesse maximale des photoélectrons arrachés.

c) Mêmes questions pour le césium dont le travail de sortie est $W_s = 1,8 \text{ eV}$.

d) Comparer les résultats b et c et conclure.

Rappel : $E(\text{eV}) \cdot \lambda(\text{\AA}) = 12400 (= hc)$

3) Les potentiels d'arrêt mesurés au cours d'une expérience photoélectrique menée avec un émetteur au calcium sont les suivants :

$\lambda (\text{\AA})$	2536	3132	3650	4047
$V_0 (\text{V})$	1,95	0,98	0,5	0,14

a) Déterminer la valeur de la constante de Planck.

b) Déterminer le travail de sortie de l'émetteur.

B/ Ondes de matière

I. Hypothèse de Louis De Broglie (Dualité onde-corpuscule de la matière)

1) Rappeler et commenter cette hypothèse.

2) Calculer la longueur d'onde de L. De Broglie associée à :

a) Une goutte d'eau de diamètre $0,1 \text{ mm}$ se déplaçant à la vitesse 10 m/s .

b) Un neutron thermique d'énergie cinétique $0,05 \text{ eV}$; (on donne : $mc^2 = 940 \text{ MeV}$).

c) Gaz d'hélium ($M=4$) à la température ambiante. On donne $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$.

d) Conclure.

3) On envoie un faisceau d'électrons monocinétique d'énergie E sur un métal, ces électrons pénètrent profondément dans le métal et sont alors soumis à un potentiel $-V_0$:

$$V(x) = 0 \text{ pour } x < 0 \text{ (électrons dans le vide)}$$

$$V(x) = -V_0 \text{ pour } x > 0 \text{ (électrons dans le métal)}$$

Les électrons sont alors diffractés et l'on peut mesurer leur longueur d'onde associée. Déterminer cette longueur d'onde en fonction de E et V_0 dans l'approximation non relativiste. Faire application pour $E = V_0 = 100 \text{ eV}$.

II. Traitement classique ou quantique

1) Par analogie avec le critère de la relativité basé sur la constante c (vitesse de la lumière), on a utilisé un critère relatif à la constante h de Planck. Rappeler ce critère et donner les dimensions de h .

2) Applications : Dans chacun des exemples suivants, préciser si l'on a (ou pas) recours à la théorie quantique

a) Une montre à ressort possédant des parties mobiles de taille et de masse typiques : $d = 0,1 \text{ mm}$ et $m = 0,1 \text{ mg}$ et un temps typique $t = 1 \text{ s}$.

b) Un noyau dont l'énergie de liaison (neutron ou proton) est typiquement de l'ordre de 8 MeV ; la dimension caractéristique du noyau se situe autour de $r = 1 \text{ Fermi}$ tandis que la masse d'un nucléon vaut $1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

3) Utiliser la relation de Louis De Broglie et réécrire le critère ci-dessous pour un système d'atomes distants de a . Faire application pour un faisceau monocinétique d'électrons d'énergie 100 eV qui rencontre un cristal de paramètre de réseau de $1 \text{ \AA}$. (masse de l'électron = $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$).

TD Mécanique quantique

Serie N° 1

Rappel :

La mécanique Quantique est un nouveau concept qui a été introduit (19^{ème} siècle) pour expliquer certains phénomènes physiques (faits expérimentaux) que le concept classique n'a pas pu apporter d'explication.

Quantique $\longleftrightarrow$ ~~Quanta~~ Quanta = Quantum = Unité d'Energie

MC

MQ

Energie Continu

Energie discrète

Position (trajectoire) est importante

Pas d'intérêt

Présence est exacte

P densité de présence, aspect probabiliste

dimension classique $\gg$ -mm

$\sim \text{\AA} = 10^{-10} \text{ m}$

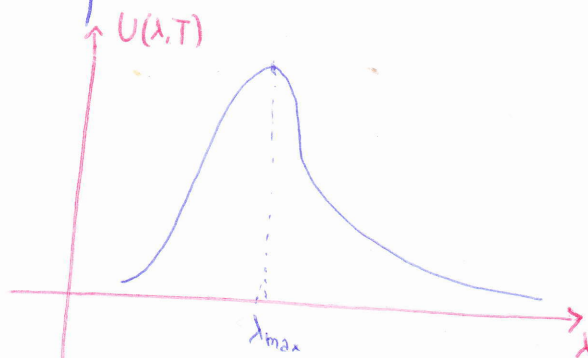
A. Corpuscules de la lumière

Rayonnement du corps noir :

Corps noir c'est un corps idéal absorbant toutes les longueurs d'onde

(IR $\xrightarrow{\text{visible}}$ UV)

Expérience



$U(\lambda, T) \longrightarrow$ le rayonnement du corps noir dépend de la température

L'Expérience montre que :

- $U(\lambda, T)$ est finie $\forall \lambda, \forall T$
- Existence d'un pic de densité d'énergie observé pour $\lambda = \lambda_{\text{max}}$
- Le pic se déplace en fonction de T
 $\lambda_{\text{max}} T = \text{cte}$

- Loi de déplacement de Wien:

On constate que lorsque $T \nearrow$, $\lambda_{\max} \searrow$ donc le pic récule vers les faibles longueurs d'onde et inversement

Utilité de cette loi

Elle permet de déterminer la température des étoiles du système solaire ou autre Galaxie.

En les supposant comme des corps noirs.

$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{4,965 K_B T}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$K_B = k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

$$\lambda_{\max} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ (m) (}^\circ\text{K)}$$

$$T_{\text{soleil}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\max} = \lambda_{\text{jaune}}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{0,55 \cdot 10^{-6}} = \frac{2898}{0,55} = 5269 \text{ K}$$

Alors que $T_{\text{interieur}} \simeq 15 \text{ million } ^\circ\text{K}$
du soleil

- Loi de Stefan - Boltzmann

$\int_0^\infty U(\lambda, T) = \sigma T^4$, la densité d'énergie est proportionnelle à (T^4)

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

2°/ La Théorie classique de Rayleigh-Jeans:

Cette théorie stipule que $U_{R-J}(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} KT\nu^2$

R-J suppose que le corps noir rayonne de l'énergie sous forme de celle d'un oscillateur harmonique et de façon continue $\forall \nu$

$$\langle E \rangle = KT$$

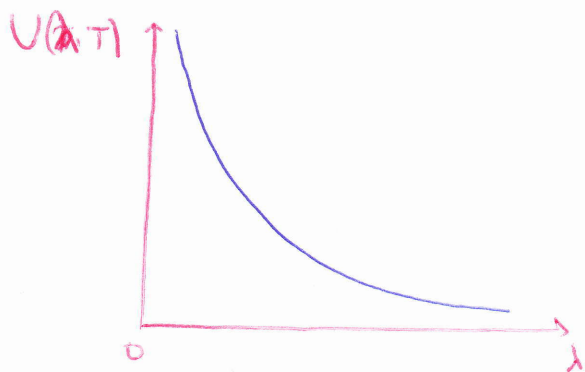
$$\nu\lambda = c \Rightarrow U_{R-J}(\nu, T) d\nu = U_{R-J}(\lambda, T) d\lambda$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}}$$

(-) indique que toute variation qui tend à accroître λ

$\Rightarrow$ Une diminution de ν est inversement

a) $U_{R-J}(\lambda, T) = \frac{8\pi}{c^3} kT \frac{c^2}{\lambda^2} \frac{c}{\lambda^2} = \frac{8\pi}{\lambda^4} kT \approx a \lambda^{-4}$



b) plus $\lambda \nearrow \infty$ plus $U(\lambda, T) \searrow 0$

$\Rightarrow$ accord avec le rayonnement du Corps noir pour les grand valeur λ .

2 Cependant, pour les faible valeurs de λ

si $\lambda \searrow 0 \Rightarrow U(\lambda, T) \nearrow +\infty$

$\Rightarrow$ desaccord total avec l'expérience.

C'est la **Catastrophe de l'UV**.

1^{er} échec du concept classique.

$$U(v, T) = \int_0^{+\infty} U(v, T) dv = \int_0^{+\infty} \frac{8\pi}{3} kT v^3 dv \nearrow +\infty$$

3°/ $U(v, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{v^3}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1}$

densité d'énergie Totale $P(v, T) = \int_0^{+\infty} \frac{8\pi h}{c^3} \frac{v^3}{e^{\frac{hv}{kT}} - 1} dv$

on pose $x = \frac{hv}{kT} \Rightarrow v = \frac{h}{kT} x$

$$P(v, T) = \int_0^{+\infty} \frac{8\pi h}{c^3} \times \frac{x^3 (kT)^3}{h \times (h)^3} \frac{kT}{e^x - 1} dx$$

$$P(v, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \times \frac{(kT)^4}{h^4} \int_0^{+\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

$$= \frac{8\pi (kT)^4}{c^3 h^3} \times \frac{\pi^4}{15}$$

$2\pi h$

$$= \frac{64 \pi^2 k^4}{15 c^3 (h)^3} \times T^4 \quad \text{finie}$$

$P(v, T)$ est finie donc la loi de Max-Planck est accord avec l'expérience du total Corp noir.

4°

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi h c^3}{\lambda^3}$$

$$U(\lambda, T) = U(\nu, T) \frac{d\nu}{d\lambda}$$

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h}{\lambda^3} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1} \times \frac{c}{\lambda^2}$$

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right]}$$

b) $\lambda_{\max} \Rightarrow$ maximum de $U(\lambda, T)$

$$\Rightarrow \frac{d U(\lambda, T)}{d\lambda} = 0$$

$$\Rightarrow -8\pi hc \left[5\lambda^4 \left(\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right) - \frac{\lambda^5}{\lambda^2 KT} \exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) \right]$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda^{10} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right]^2}{\lambda^{10} \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right]^2} = 0$$

$$5\lambda^4 \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) - 1 \right] - \frac{hc}{KT} \exp\left(\frac{hc}{\lambda KT}\right) = 0$$

$$x = \frac{hc}{\lambda KT} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{KT x}$$

$$5 \frac{hc}{KT x} \left(\exp(x) - 1 \right) - \frac{hc}{KT} \exp(x) = 0$$

$$5 \left(\exp(x) - 1 \right) = x \exp(x)$$

$$\boxed{(1 - \exp(-x)) = \frac{x}{5}}$$

On trouve la solution graphique entre la droite $y = \frac{x}{5}$ et la courbe $(1 - e^{-x})$ et l'intersection donne cette solution

$$\text{Soit } x = 4,97$$

$$\text{d'où } \frac{hc}{\lambda_{\max} T} = 4,97 \Rightarrow \lambda_{\max} T = \frac{hc}{4,97 \times K_B}$$

$$\lambda_{\max} T = \frac{hc}{4,97 K} = \text{cte} = 2,898 \cdot 10^{-3}$$

C'est la loi de déplacement de Wien

C/ On a trouvé la loi de déplacement de Wien

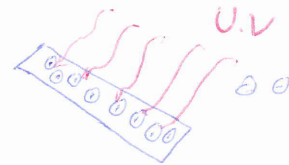
$$\lambda_{\max} T = cte = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

$$T_{\text{soleil}} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{0,55 \cdot 10^{-6}} = 5267 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

Une telle température est obtenue en supposant que le soleil est un corps noir
A l'intérieur de soleil la température est estimée à 15 million $^{\circ}\text{K}$

II. L'Effet photoélectrique :

L'effet photoélectrique consiste en l'émission d'électrons initialement retenus dans un métal alcalin lorsqu'ils sont soumis au rayonnement de la lumière (impact électron-photon).



Concepte classique

Effet photoélectrique aura lieu pour toute les ν fréquences du rayonnement

Effet photoélectrique dépend du flux de lumière

E.P présente un retard pour qu'il se produit

Concepte Quantique 1905 Einstein

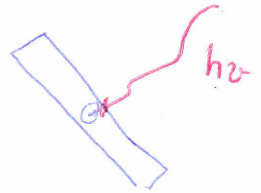
Existence d'une fréquence de Seuil ν_s ($\nu \geq \nu_s$). ν_s dépend du métal

Effet photoélectrique dépend de l'intensité des rayonnement

E.P est instantané (Temp de réponse 10^{-19} s)

1° Relation d'Einstein

initialement, l' e^- est au repos (lié au métal)
on lui communique une partie de l'énergie du photon
(W_s énergie d'extraction) pour le rendre libre dans le
métal, et l'autre partie de l'énergie du photon est
transformée en énergie cinétique E_c pour qu'il
se déplace vers l'anode Collectrice des électrons



$$h\nu = W_s + E_{c_{\max}}$$

$$h\nu = h\nu_s + E_{c_{\max}}$$

Relation d'Einstein

2° a) Absence de l'effet photo-électrique Avec les rayons du visible $\lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]$

$$W_s = h\nu_s = \frac{hc}{\lambda_s} = \frac{12400}{\lambda_s (\text{\AA})}$$

$$W_{\lambda_1} = \frac{12400}{4000 (\text{\AA})} = 3,1 \text{ eV}$$

$$W_{\lambda_2} = \frac{12400}{7500 (\text{\AA})} = 1,65 \text{ eV}$$

Donc l'énergie d'extraction doit être

$$\text{si } W_s < 1,65 \text{ eV}$$

$$\text{si } W_s > 3,1 \text{ eV}$$

Pas d'effet P.E

Effet P.E
peut être

$W \in [1,65, 3,1]$ Pas d'effet photo-électr

b) $W_s = 3,4 \text{ eV}$

$$W_s = h\nu_s = \frac{hc}{\lambda_s}$$

$$\Rightarrow \lambda_s = \frac{12400}{3,4} = 3647 \text{ \AA}$$

$$\nu_s = \frac{c}{\lambda_s} = \frac{3 \cdot 10^8}{3647 \cdot 10^{-10}} = 8,33 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\nu_s = 8,33 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

vitesse max d'e-

$$E_{c_{max}} = h(\nu - \nu_s)$$

$$\frac{1}{2} m_e V_{max}^2 = h(\nu - \nu_s)$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2h}{m_e} (\nu - \nu_s)}$$

Avec $\lambda = 0,2 \mu m \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{0,2 \cdot 10^{-6}} = 1,5 \cdot 10^{15} Hz$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 6,62 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 10^{-31}} (15 - 8,33) \cdot 10^{14}}$$

$$V_{max} = 993 \text{ Km/s}$$

$\sim$ 2900 fois la vitesse du son

c) Avec le césium, $W_s = 1,8 \text{ eV}$

$$\lambda_s = \frac{12400}{1,8} = 6888 \text{ Å}$$

$$\nu_s = \frac{c}{\lambda_s} = \frac{3 \cdot 10^8}{6888 \cdot 10^{-10}} = 4,35 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 6,62 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 10^{-31}} (15 - 4,35) \cdot 10^{14}} = 1251 \text{ Km/s}$$

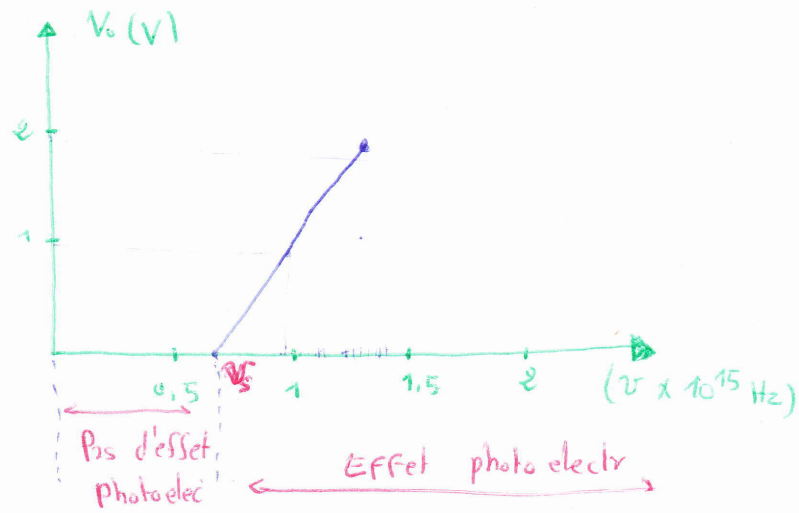
$$V_{max} = 1251 \text{ Km/s}$$

b)

La plaque b demande plus d'énergie pour libérer ces électrons en comparaison avec la plaque c, $W_{s(b)} > W_{s(c)}$. Avec même énergie $h\nu$, les électrons de (c) seront éjectés avec une vitesse supérieure à celle des électrons de (b).

3%

$\lambda (\text{Å})$	2536	3132	3650	4047
$\nu (10^{15} \text{ Hz})$	1,18	0,958	0,822	0,741
V_0	1,95	0,98	0,5	0,14



$$h\nu = h\nu_s + E_{\text{max}} \quad \text{et} \quad E_{\text{max}} = e|V_0|$$

$$V_0 = \frac{h\nu}{e} - \frac{h\nu_s}{e}$$

$$\Rightarrow \boxed{V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_s}{e}}$$

$V_0 = f(\nu)$, c'est une droite de pente $\frac{h}{e}$ et coupe l'axe de (ν) en $\nu = \nu_s$

$$\begin{cases} \nu_s = 0,683 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \\ h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} \end{cases}$$

$$\boxed{W_s = 2,82 \text{ eV}}$$

B) Onde Matière

I. Dualité onde - Corpuscule

Hypothèse de Louis de Broglie La dualité de la lumière a été mise en évidence par les expériences ~~des~~ de Young. Ces expériences ont révélé que la lumière possède deux aspects différents mais complémentaires

- Aspect Corpusculaire
- Aspect Ondulatoire

Pourtant Pourtant de cette hypothèse L. B l'a étendu à la matière qui on peut lui associer une onde

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

$$mv = \frac{h}{\lambda}$$

$$\underline{vh \neq c}$$

$$\text{avec } |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{h}{mv}} \quad \begin{array}{l} \text{vitesse} \\ \text{masse} \end{array}$$

2% a) Calculons λ pour une goutte de $d = 0,1 \text{ mm}$, $v = 10 \text{ m/s}$

goutte de forme sphérique $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

$$\Rightarrow V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi d^3}{6}$$

$$\text{or } m = \rho \times V \Rightarrow m = \frac{\pi d^3}{6} \rho \quad \text{avec } \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6h}{\pi d^3 \rho v}$$

$$\text{A.N} \quad \lambda = \frac{6 \times 6,62 \times 10^{-34}}{3,14 \times 10^{-12} \times 10^3 \times 10} = \frac{6 \times 6,62}{3,14} \cdot 10^{-26}$$

$$\boxed{\lambda = 1,26 \cdot 10^{-25} \text{ m}}$$

b) Un neutron thermique $E_c = 0,05 \text{ eV}$

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}} = \frac{hc}{c\sqrt{2mE_c}} = \frac{hc}{\sqrt{2mc^2E_c}}$$

$$\boxed{\lambda = \frac{hc}{\sqrt{2mc^2E_c}}}$$

on utilise : $hc = 12400$

E_c et mc^2 en eV

} $\Rightarrow \lambda$ en Å

$$\lambda = \frac{12400}{\sqrt{2 \times 940 \times 10^6 \times 0,05}}$$

$$\boxed{\lambda = 1,28 \text{ Å}}$$

c) Gaz d'Helium de $M = 4 \text{ g}$

$$E_c = \frac{1}{2} kT = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{m k T}} \quad \text{or} \quad m = \frac{M}{N_{\text{Avogadro}}} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}}$$

$\Rightarrow m =$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{\frac{M k T}{N}}}$$

avec

$$T = 300^\circ \text{K}$$

$$T_{\text{ambi}} = 27^\circ \text{C}$$

$$T_K = 273 + T_c$$

AN

$$\boxed{\lambda = 1,38 \text{ Å}}$$

d) Conclusion :

$$\lambda_g = 1.26 \cdot 10^{-25}$$

$$\lambda_{\text{neutro}} = 1.28 \text{ \AA}$$

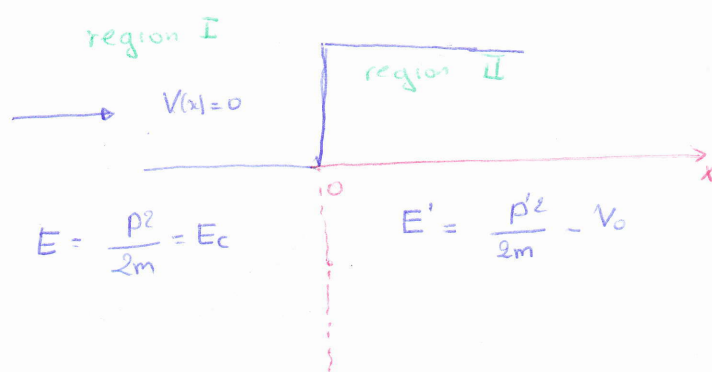
$$\lambda_{\text{Helium}} = 1.32 \text{ \AA}$$

On constate $\lambda_g \ll \text{\AA}$ Donc on ne peut pas faire correspondre à cette particule une longueur d'onde λ

$\Rightarrow$ Particule classique

- Par contre pour les particules b) et c) la longueur trouvée est de l'ordre $\text{\AA}$ $\Rightarrow$ les particules sont traitées par le concept quantique l'aspect ondulatoire est observable.

3°/



La conservation de l'énergie

$$\underbrace{\frac{p^2}{2m}}_{\text{Region I}} = \underbrace{\frac{p'^2}{2m} - V_0}_{\text{Region II}} = E$$

$$\Rightarrow \frac{(\hbar k)^2}{2m} = E + V_0$$

$$\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = 2m E \left(1 + \frac{V_0}{E}\right)$$

$$\Rightarrow \lambda^2 = \frac{h^2}{2m E \left(1 + \frac{V_0}{E}\right)} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m E \left(1 + \frac{V_0}{E}\right)}}$$

$$\boxed{\lambda_{II} = \frac{h}{\sqrt{2m E}} \left(1 + \frac{V_0}{E}\right)^{-\frac{1}{2}}}$$

or $\lambda_I = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$

$$E = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p^2 = 2mE \Rightarrow p = \sqrt{2mE}$$

$$\lambda_{II} = \lambda_I \left(1 + \frac{V_0}{E}\right)^{-1/2}$$

$$\forall V_0 : \lambda_{II} < \lambda_I$$

$$\lambda_{II} \sim \text{\AA}$$

$$\lambda_{II} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 100 \times 1,6 \times 10^{-19}}} \times (1 + 1)^{-1/2}$$

$$\lambda_{II} = 0,8 \text{ \AA} \sim 1 \text{ \AA}$$

II. Traitement classique ou quantique :

1° Rappels

$v \ll c \Rightarrow$ particule classique

$v \sim c \Rightarrow$ particule relativiste.

Par analogie avec la relativité, en ^{M.Q}cherche l'action A :

$A = p \times r =$ quantité de mouvement $\times$ distance

$A = E \times t$ même ~~quant~~ unité que h
 $\uparrow \quad \quad \uparrow$
 Énergie $\times$ temps

si $A \sim h \Rightarrow$ traitement de la particule est quantique

si $A \gg h \Rightarrow$ Traitement est classique.

$A \ll h$ (impossible à avoir)

2° a) $d = 10^{-4} \text{ m}$, $m = 10^{-7} \text{ Kg}$, $t = 1 \text{ s}$

$$A = m v \times d = m \frac{d}{t} d = \frac{m d^2}{t}$$

$$A = 10^{-7} \times \frac{10^{-8}}{1} = 10^{-15} \gg h$$

le traitement est classique

b)

$$E = 8 \text{ MeV}$$

$$r = 1 \text{ Fermi} = 10^{-15} \text{ m}$$

$$m_n = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$\frac{p^2}{2m} = E \Rightarrow p = \sqrt{2mE}$$

$$A = p \times r = \sqrt{2mE} \times r$$

$$A = \sqrt{2 \times 1,6 \times 10^{-27} \times 8 \cdot 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19}} \times 10^{-15}$$

$$= \sqrt{2 \times 1,6 \times 1,6 \times 8} \cdot 10^{-35}$$

$$= 4 \times 1,6 \cdot 10^{-35}$$

$$= 6,4 \cdot 10^{-35}$$

le traitement est Quantique.

3°

$$p = mV = \frac{h}{\lambda}$$

$$A = p \times a$$

si $A \gg h \longrightarrow$ traitement est classique

$$p \times a = \frac{h}{\lambda} a \gg h$$

$$\Rightarrow \boxed{a \gg \lambda} \quad \text{Traitement classique}$$

$$\boxed{a \sim \lambda} \quad \text{traitement Quantique}$$

a du réseau $\sim 1 \text{ \AA}$

$$\frac{p^2}{2m} = E_c \Rightarrow p = \sqrt{2mE_c}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}}$$

A.N :

$$\lambda = \frac{6,62 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 100 \times 1,6 \times 10^{-19}}} = 1,23 \text{ \AA}$$

or $a = 1 \text{ \AA} \sim \lambda \Rightarrow$ traitement quantique